

УДК 53.082.15:543.54

**СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ СЕДИМЕНТАЦИИ
ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ***Тертышный В. А.¹, аспирант;**Тертышный А. М.², преподаватель высшей категории.*¹ *Кременчугский национальный университет имени Михаила
Остроградского, г. Кременчуг, Украина*² *Александрыйский государственный политехнический колледж,
г. Александрия, Кировоградская область, Украина***COMPARISON OF SEDIMENTATION METHODS FOR HIGHLY DIS-
PERSED SYSTEMS***Tertyshnyi V.¹, postgraduate student; Tertyshnyi O.², lecturer of high category*¹ *Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine*² *Alexandria Polytechnic College, Alexandria, Kirovograd region, Ukraine***Введение**

Дисперсность коллоидных растворов является одним из основных технологических параметров веществ и материалов во многих производствах. Одним из методов определения фракционного состава коллоидных систем есть седиментационный анализ [1], который можно использовать для исследования суспензий, эмульсий, порошков - дисперсных систем, наиболее распространенных и важных в разных областях промышленности.

К методам седиментационного анализа относятся те, принцип действия которых основывается на измерении скорости осаждения коллоидных частиц в жидкой среде. По найденной скорости осаждения с помощью соответствующих формул рассчитываются размеры частиц. Метод позволяет определять распределение частиц по размерам и соответственно рассчитать их удельную поверхность. В лабораторных условиях для определения фракционного состава дисперсных систем используются пипеточный прибор для седиментационного анализа, седиментометр Вигнера, седиментометр Н. А. Фигуровского с торсионными весами и ультрацентрифуга для исследования зольей [2].

Под действием гравитационного поля оседают только достаточно крупные частицы. Высокодисперсные коллоидные частицы (золи) под действием силы тяжести не оседают или оседают в жидкости чрезвычайно медленно. Так частицы кварца радиусом 0,1 мкм проходят при осаждении путь в 1 см за 86,2 часа. Заменяя действие гравитационного поля действием центробежного поля центрифуги с большим ускорением, можно заставить коллоидные частицы осаждаться намного быстрее. Так в центробежном

поле с ускорением $10^5 g$ та же частица кварца должна осаждаться на 1 см за 3 с.

Чтобы провести седиментацию ультрамикроретерогенных систем А.В. Думанским было предложено использовать центробежное поле. Это удалось осуществить Т. Сведбергу, который разработал ряд конструкций центрифуг с частотой вращения в несколько десятков – сотен оборотов за минуту для определения размеров коллоидных частиц и молекул высокомолекулярных веществ, например белков.

Устройство центрифуги показано схематически на рисунке 1. На оси центрифуги 1 закреплен ротор 2 – массивный диск в котором находятся радиальные вырезы.

В эти вырезы вставляются кварцевые кюветы 3, в которые наливаются исследуемая коллоидная система. Ротор центрифуги вращается с большой

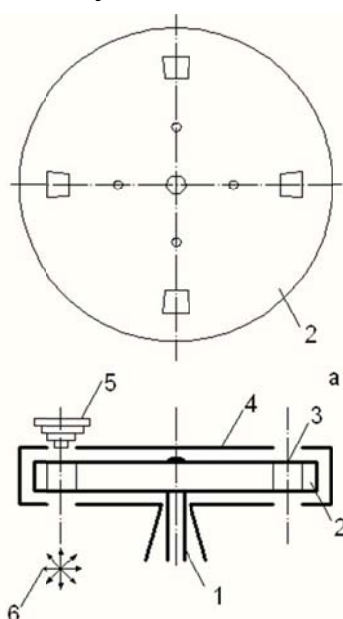


Рис. 1. Устройство центрифуги

скоростью (десятки тысяч оборотов за секунду и находится в кожухе 4). В отдельных местах кюветы сделаны окошки, соответствующие размерам вырезов в роторе. Под нижним окошком кожуха размещается источник света 6, а над верхним окошком кожуха фотокамера 5. При длительном вращении коллоидные частицы, если их плотность больше плотности дисперсной среды отбрасываются центробежной силой к периферии. В результате этого в кювете появляется ближе к периферии слой концентрированного золя, а ближе к оси вращения – слой осветленной жидкости. По мере центрифугирования первый слой уменьшается, а второй увеличивается, пока все частички не осядут на дно. Путем фотосъемки через определенные моменты времени можно проследить за перемещением границы между двумя слоями.

Схематично эти снимки показаны на рис. 2. За полученными данными

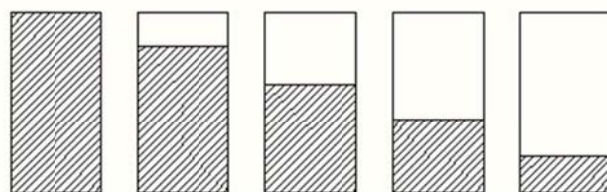


Рис. 2 Снимки этапов осветления золя

определяется скорость седиментации коллоидных частиц. На основании этого можно рассчитать их размер или молекулярный вес.

Другим путем ускорения седиментации частиц коллоидных растворов предлагается использо-

вание электрического поля. В этом случае в дисперсной системе создается постоянное электрическое поле, направление силовых линий которого

на каждую коллоидную частицу совпадает с действием силы земного тяготения. Суммарное действие электрического и гравитационного полей существенно ускоряет процесс седиментации ультравысокодисперсных систем.

Целью данного исследования является сравнительный анализ процессов седиментации высокодисперсных коллоидных растворов в центробежном поле и в случае использования электрического поля для ускорения осаждения коллоидных частиц.

Материалы и результаты исследований

Авторами были использованы математические закономерности процессов седиментации высокодисперсных систем в гравитационном, центробежном и электрических полях, которые приведены в научно-технической литературе. При равномерном движении коллоидных частиц в поле гравитации, когда сила земного тяготения уравновешивается архимедовой силой и силой трения, скорость оседания сферических частиц постоянна [1, 2] и равняется:

$$V = \frac{2g(\rho - \rho_0)r^2}{9\eta} \quad (1)$$

где g — ускорение свободного падения; ρ и ρ_0 — плотность частиц дисперсной фазы и дисперсной среды соответственно; r — радиус частиц суспензии; η — динамическая вязкость дисперсной среды.

В центробежном поле закон осаждения частиц высокодисперсной фазы имеет вид [3]:

$$\ln \frac{x}{x_0} = \frac{2}{g} \omega^2 r^2 \frac{\rho - \rho_0}{\eta} t, \quad (2)$$

где x_0 и x — начальное и конечное расстояние от частицы до оси вращения соответственно;

ω — циклическая частота вращения ротора центрифуги;

ρ_0 и ρ — плотность дисперсной среды и дисперсной фазы соответственно;

η — динамическая вязкость дисперсной среды; t — время осаждения.

При одновременном действии на коллоидную частицу гравитационного и электрического полей, когда сила тяжести и кулоновская сила уравновешивается силами Архимеда и трения [4], скорость осаждения при равномерном ламинарном движении частицы равняется:

$$V = \frac{2g(\rho - \rho_0)r^2 + 6\varepsilon_0\varepsilon\zeta E}{9\eta}; \quad (3)$$

где ε_0 — абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума;

ε — относительная диэлектрическая проницаемость дисперсной среды;

ζ — электрокинетический потенциал частицы (дзета - потенциал);

E — напряженность вертикального электрического поля в дисперсной среде.

Проводится расчет скоростей осаждения с использованием данных формул (а точнее времени оседания частицы на пути в 1см) для сферических частиц кварца в воде в зависимости от их радиуса.

Таблица
Скорость седиментации частиц SiO₂ в воде под действием различных силовых полей

| Время осаждения частицы на пути 1см | Радиус частицы в мкм | | | | |
|--|----------------------|--------------|-------------|-----------------|-------------|
| | 10 | 1 | 0,1 | 0,01 | 0,001 |
| В поле гравитации | 26,9 8 с | 44,97 мин | 74,94 ч. | 312,27 сутк. | 85,5 год |
| В центробежном поле | 0,2 мс | 23,8мс | 2,386 с | 3,97 мин | 6,63 ч. |
| В электрическом и гравитационном полях | 26,9 7 с | 42,77 мин | 12,18 ч. | 14,52ч . | 14,54 ч. |

При использовании формулы (2) были исследованы технические характеристики скоростной ультрацентрифуги Т. Сведберга. Она создавала поля в 100000g при скорости вращения ротора 45000¹/мин. и имела радиус ротора 52мм [5].

При выборе напряженности электрического поля для ускорения седиментации исходили из того, что тепловой режим коллоидной системы в результате прохождения некоторого электрического тока через нее находился в состоянии динамического равновесия с окружающей средой. Это достигается при малых значениях напряженности электрического поля в пределах $E=2...25$ В/м (выбрано 10В/м). При этом также учитывается, что относительная диэлектрическая проницаемость воды $\epsilon = 81$ и её динамическая вязкость $\eta=0,0001$ Па·с при 20 °С, ζ – электрокинетический потенциал SiO₂ равняется 40 мВ, а плотность SiO₂ $\rho = 2700$ кг/м³.

Результаты вычислений занесены в таблицу. Как видно из полученных данных, седиментация высокодисперсных систем в поле тяготения не пригодна ни для технологических процессов, ни для исследований фракционного состава золь и суспензий.

Ускорение седиментации высокодисперсных систем и суспензий в производстве стало возможным благодаря применению центрифуг разных конструкций и мощностей. Для исследования золь применяют ультрацентрифуги, которые являют собой сложные приборы. Их конструкция обеспечивает равномерное вращение ротора, а отсутствие вибраций исключает наименьшие температурные колебания в кювете. Ротор центрифуги диаметром в несколько сантиметров изготовлен из хромоникелевой стали, вращается в потоке жидкого водорода. Водород, который обладает высокой теплопроводимостью, обеспечивает быстрый отвод теплоты, которая выделяется в результате трения, и таким образом уменьшает возможность тепловой конвекции в кювете. Такие центрифуги приводятся во вращение с помощью масляных турбин.

Отсюда видно, что исследование фракционного состава золь с помощью ультрацентрифуг аппаратно сложно, энергозатратно и имеет высокую стоимость. Определенной альтернативой данному методу определения дисперсного состава золь и суспензий может служить седиментация частиц в гравитационном и электрическом полях. Этот метод аппаратно несложен, так как включает, кроме измерительной кюветы, электроды и источник постоянного электрического поля, имеет низкую стоимость проведения работ, не энергозатратный, хотя длительность исследования несколько больше, чем при использовании ультрацентрифуги. С другой стороны, не все исследовательские учреждения могут приобрести такое высокотехнологичное оборудование, каким является современная ультрацентрифуга.

Выводы

Для исследования фракционного состава высокодисперсных систем предлагаются использовать установки с ускорением седиментации частиц твердой фазы электрическим полем, которые могли бы во многих случаях заменить такое сложное высокотехнологическое оборудование как ультрацентрифуги.

Литература

1. Ходаков Г. С. Седиментационный анализ высокодисперсных систем / Г. С. Ходаков, О. П. Юдкин — М. : Химия, 1981. — 192 с.
2. Воюцкий С. С. Курс коллоидной химии / С. С. Воюцкий — М. :, «Химия», 1975 — с. 512.
3. Методы седиментационного анализа. — Режим доступу: www.xumuk.ru/colloidchem/82.html. — назва з екрану.
4. Тertiшній В. О. Прискорення седиментації колоїдних частинок електричним полем. Хімія та хімічні технології / В. О. Тertiшній // Матеріали I Міжнародної конференції молодих вчених ССТ-2010. Львів. Видавництво Львівської політехніки, 2010 — с. 180—181.
5. Кофман Е. Б. Конструкции современных ультрацентрифуг / Е. Б. Кофман // Ж. Успехи физических наук. Т. XXV, вып. 3. Москва 1941 г. — С. 340—361.

Reference

1. Khodakov G. S., Yudkin O. P. Sedimentation analysis of fine systems. - M.1981.
2. Voyutskii S. S. The course of colloid chemistry. Moscow, "Chemistry", 1975, page 512.
3. www.xumuk.ru/colloidchem/82.html. / Methods of sedimentation analysis.
4. V. A. Tertyshnyi. Acceleration sedimentation of colloidal particles by the electric field. Chemistry and chemical technology. / / Proceedings of the First International conference of young scientists CCT-2010. Lviv. Publishing House of Lviv Polytechnic University, 2010, p. 180-181.
5. EB Coffman. Design of modern ultracentrifuge. / / J. Advances in physics. T. XXV, no. 3. Moscow 1941 pp. 340-361.

Тertiшній В. О., Тertiшній О. М. Порівняння методів седиментації високодисперсних систем. У цій роботі виконується порівняльний аналіз процесів седиментації високодисперсних колоїдних розчинів у відцентровому полі ультрацентрифуги і при су-

місній дії гравітаційного і вертикального електричного полів на колоїдні частки, а також розглядається ефективність кожного методу.

Ключові слова: дисперсність, седиментація, колоїди, ультрацентрифуга, фракція.

Тертышный В. А., Тертышный А. М. **Сравнение методов седиментации высокодисперсных систем.** В данной работе выполняется сравнительный анализ процессов седиментации высокодисперсных коллоидных растворов в поле гравитации, в центробежном поле ультрацентрифуги и при совместном действии гравитационного и вертикального электрического полей на коллоидные частицы, а также рассматривается эффективность каждого метода.

Ключевые слова: дисперсность, седиментация, коллоиды, ультрацентрифуга, фракция.

Tertyshnyi V., Tertyshnyi O. **Comparison of sedimentation methods for highly dispersed systems.**

Introduction. The processes of sediment suspensions and sols in gravitational and in centrifugal field and the combined action of the electric field on the particle and the field of gravity, and also their advantages and disadvantages are discussed in this work.

Materials and performance. The time of sedimentation particles different radius is calculated on the way to an inch as it moves under the influence of gravity, centrifugal and electric fields as the example of the colloidal particles quartz SiO₂.

Resume. The effectiveness of the methods deposition colloidal particles under the influence of different fields is assessed. The conclusion concerning the alternatives to sedimentation analysis under the influence of the centrifugal field sedimentation analysis using an electric field is given.

Keywords: dispersion, sedimentation, colloids, ultracentrifuge, fraction.